

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2020, №4, Том 5 / 2020, No 4, Vol 5 <https://kostumologiya.ru/issue-4-2020.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/21TLKL420.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Шарпар Н.М., Жмакин Л.И., Маркова К.А. Экспериментальное исследование теплопроводности текстильных материалов, входящих в состав одежды силовых структур и специальных ведомств // Научный журнал «Костюмология», 2020 №4, <https://kostumologiya.ru/PDF/21TLKL420.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Sharpar N.M., Zhmakin L.I., Markova K.A. (2020). Experimental study of thermal conductivity of textile materials included in the clothes of power structures and special agencies. *Journal of Clothing Science*, [online] 4(5). Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/21TLKL420.pdf> (in Russian)

УДК 677:536.2

ГРНТИ 64.29.81

**Шарпар Николай Михайлович**

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия  
Доцент

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: [sharpar753@mail.ru](mailto:sharpar753@mail.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=744693](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=744693)

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/E-5345-2014>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=54401776000>

**Жмакин Леонид Иванович**

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия  
Профессор

Доктор технических наук, профессор

E-mail: [li\\_zhmakin@mail.ru](mailto:li_zhmakin@mail.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=26045](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=26045)

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/G-9090-2014>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6603097210>

**Маркова Каринэ Александровна**

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия  
Доцент

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: [karina8112@mail.ru](mailto:karina8112@mail.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=744453](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=744453)

**Экспериментальное исследование теплопроводности текстильных материалов, входящих в состав одежды силовых структур и специальных ведомств**

**Аннотация.** При проектировании одежды для силовых подразделений, защищающей личный состав от неблагоприятных факторов окружающей среды, необходимо знать различные теплофизические свойства материалов, из которых она изготовлена. Одним из таких свойств является теплопроводность тканей, во многом определяющая теплозащитные характеристики спецодежды.

Любая ткань имеет сложную гетерогенную структуру, образованную переплетениями нитей и воздушными включениями, поэтому общий поток тепла в ней включает три составляющих: кондуктивный перенос теплоты по волокнам, а также молекулярный и лучистый теплоперенос в межволоконных или сквозных порах. Коэффициент теплопроводности ткани представляет собой эквивалентную или эффективную величину, которая учитывает эти особенности теплопереноса.

В данной статье предпринято экспериментальное исследование эффективного коэффициента теплопроводности ряда тканей с использованием двух различных методов измерения: стационарного метода плоского слоя и нестационарного экспресс-метода регулярного режима охлаждения. В методе плоского слоя использовалась схема с симметричным относительно электрического нагревателя расположением образцов тканей; это позволило корректно определять плотности теплового потока, а торцевые утечки тепла можно минимизировать и учесть расчетным путем. Этот метод отличается повышенной точностью.

Метод регулярного режима охлаждения сочетает в себе относительную простоту эксперимента и приемлемую для практики точность измерений. Он основан на экспоненциальном характере изменения температуры образца ткани во времени. В экспериментах определяется только темп охлаждения ткани, который однозначно связан с ее толщиной и теплофизическими свойствами.

Проанализированы источники погрешностей экспериментов. Показано, что в методе регулярного режима основной вклад в ошибку измерения теплопроводности вносят контактные термические сопротивления в местах соприкосновения образцов тканей с поверхностью измерительного устройства. Предложен способ исключения этих сопротивлений, позволивший существенно повысить точность экспериментальных данных.

**Ключевые слова:** текстильные материалы; термическое сопротивление; теплозащитные свойства; теплопроводность; материалы для одежды; спецодежда; защитная одежда

Обеспечение в одежде силовых структур комфортных и безвредных для организма условий – это важное требование, которое во многом зависит от ее теплозащитных свойств и, в частности, от теплопроводности самого текстильного материала, применяемого в ее производстве. Исходя из модельного ряда всевозможных костюмов, определить коэффициенты теплопроводности, как пакетов, так и отдельных тканей, входящих в их состав, визуальным способом невозможно, в связи с этим основным источником получения подобной информации по-прежнему является эксперимент.

В статье проведены исследования теплопроводности материалов [1–3], входящих в состав одежды силовых структур специального назначения и применяемых при ее пошиве.

Исследования проводились на таких тканях, как «парусина полульняная» мокрого прядения (поверхностная плотность  $470 \text{ г/м}^2$ ), «силотекс-97», изготовленная из водостойких и термостойких волокон с повышенной механической прочностью ( $210 \text{ г/м}^2$ ), ткань «номекс» из мета-арамидных волокон ( $220 \text{ г/м}^2$ ); смесовые полиэфирно-хлопковые материалы, обладающие водоотталкивающими свойствами: «грета» ( $200 \text{ г/м}^2$ ), «сису» ( $139 \text{ г/м}^2$ ), «феникс» 2-х классов: «комфорт» и «термоогнезащита» ( $220 \text{ г/м}^2$ ), а также полиэфирные ткани «оксфорд 210D» и «полиэфир сжатый», используемые в утепленной одежде для холодных сезонов.

Коэффициент теплопроводности в работе рассматривался в виде некоторого усредненного, либо эффективного значения, определяющего не только структурные свойства волокнистого слоя, но и общий радиационно-конвективный перенос тепла в нем [4; 5]. Нами

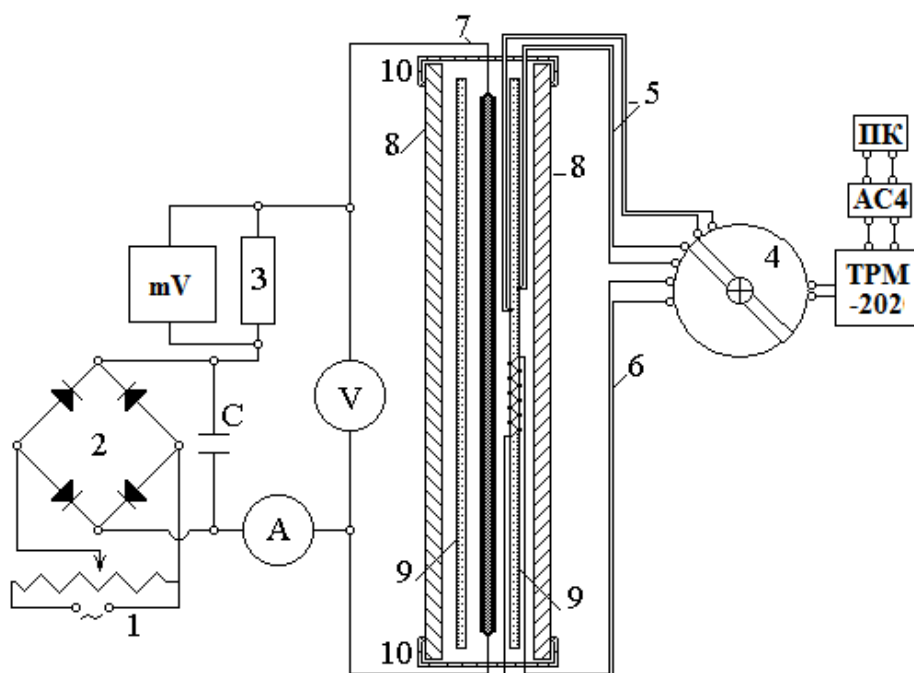
было рассмотрены два метода его определения: метод плоского слоя при стационарном режиме и нестационарный метод регулярного режима [6; 7].

Согласно первой методике измерения велись при стационарном режиме с температурой до 100 °С. В основу метода положено определение количества теплоты, переданного через слой материала площадью  $F$  и толщиной  $\delta$  за время  $\tau$  при перепаде температур  $\Delta t$  на границах исследуемого образца. Коэффициент теплопроводности можно определить по формуле [8]

$$\lambda = \frac{|q|}{\text{grad}(t)} = \frac{Q}{F\tau\Delta t/\delta}, \quad (1)$$

где  $|q| = Q/F\tau$  – плотность теплового потока,  $\text{grad}(t) = \Delta t/\delta$  – градиент температуры.

Для определения теплопроводности по этой методике были проведены опыты на экспериментальной установке [8], представленной на рис. 1.



1 – автотрансформатор; 2 – выпрямитель; 3 – образцовое сопротивление; 4 – переключатель; 5 – абсолютные термомпары; 6 – дифференциальная термобатарея; 7 – нагреватель со слоями фольги; 8 – стеклянные пластины; 9 – образцы материала; 10 – зажимы

**Рисунок 1.** Схема установки для исследования теплопроводности методом плоского слоя

В рабочую ячейку рассматриваемой установки входит многослойная конструкция, в ее центральной части находится электронагреватель (слой углеродной ткани «Урал» Т-18). Он с 2-х сторон покрыт электроизолирующей пленкой на полиамидной основе с толщиной ~0,08 мм. По обе стороны от нагревателя симметрично расположены слои образцов исследуемых материалов, вырезанных из одного и того же холста; их размер составляет 130x175 мм. Снаружи образцы плотно прижаты к нагревателю стеклами толщиной 1,5 мм, которые скреплены зажимами с усилием ~20 г/см<sup>2</sup>, образуя пакет. Определение температуры велось с помощью 2-х абсолютных медь-константановых термомпар и дифференциальной 10-спайной термобатареи; она необходима при определении температурного перепада на исследуемом образце, Вторичными приборами служили цифровые милливольтметры.

Во время проведения опыта на стабилизаторе напряжения марки ВСА-4 устанавливали требуемый ток нагревателя, а затем при выходе экспериментального стенда на стационарный режим регистрировали мощность нагревателя (тепловой поток). В связи с симметричным расположением исследуемых образцов тепловой поток в каждом из них составлял половину от этой величины. По завершению опыта данные использовались для определения коэффициента теплопроводности по уравнению (1). Из-за наличия в торцах рабочей ячейки тепловых потерь в расчеты вводился поправочный коэффициент на утечки тепла.

Для каждого образца ткани измерения проводились на 6 стационарных режимах: на трех – при увеличении мощности нагревателя (в диапазоне от нуля до ~25 Вт) и на трех – при ее снижении. Наступление стационарного режима контролировалось по неизменности во времени показаний термодатчиков. Время установления стационарного состояния на каждом режиме составляло около 15 мин. Коэффициент теплопроводности рассчитывался по уравнению (1), в котором плотность теплового потока

$$q = \frac{U \cdot J - \Delta Q_m}{2F_H},$$

где  $F_H = 0,01724 \text{ м}^2$  – площадь нагревателя,  $U$  и  $J$  – соответственно, напряжение и ток нагревателя, а  $\Delta Q_m$  – поправка на утечки тепла с торцевой поверхности нагревателя

$$\Delta Q_m = \alpha(t - t_K) p \delta_n,$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи к окружающему воздуху,  $p$  – периметр нагревателя и  $\delta_n$  – его толщина. Расчеты показали, что во всех случаях величина этой поправки не превышала 0,7–1,1 % от теплового потока нагревателя.

Результаты измерений коэффициента теплопроводности представлены на рис. 2. Методом наименьших квадратов для каждой ткани были получены интерполяционные уравнения, описывающие температурные зависимости теплопроводности. Эти зависимости, а также среднеквадратичные отклонения от них экспериментальных точек приведены в таблице 1.

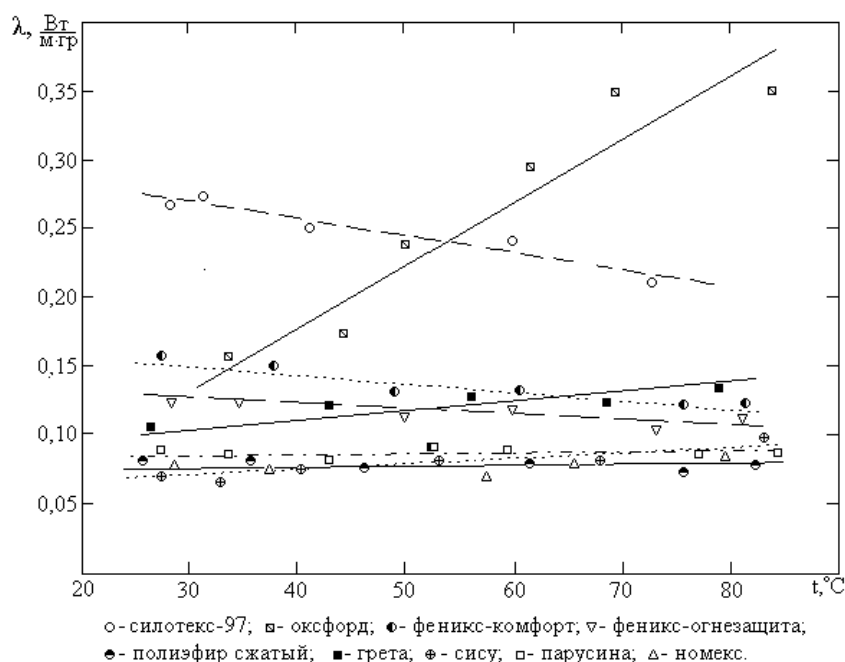


Рисунок 2. Температурная зависимость теплопроводности материалов

Таблица 1

Зависимости и среднеквадратичные отклонения от них экспериментальных точек

Материал	Толщина образцов, мм	Теплопроводность, Вт/м К	Отклонения, %
Оксфорд 210D	0,23	$\lambda = 0,0031 + 0,0045t$	4,55
Феникс-комфорт	0,46	$\lambda = 0,168 - 0,00062t$	4,07
Феникс-огнезащита	0,55	$\lambda = 0,125 - 0,00016t$	3,13
Грета	0,43	$\lambda = 0,106 + 0,00028t$	7,31
Сису	0,21	$\lambda = 0,060 + 0,00039t$	6,64
Полиэфир сжатый	0,21	$\lambda = 0,087 - 0,00012t$	3,27
Силотекс-97	0,26	$\lambda = 0,400 - 0,0029t$	3,63
Номекс	0,41	$\lambda = 0,080 - 0,000066t$	0,60
Парусина полульняная	0,90	$\lambda = 0,087 + 0,0000042t$	0,82

Из рис. 2 видно, что наиболее четко выраженные температурные зависимости теплопроводности были отмечены только у двух материалов, это «оксфорд 210D» с водоотталкивающими свойствами и «силатекс-97». У остальных материалов исследованной группы тканей изменения находились в пределах погрешности эксперимента.

Второй метод измерения заключался в проведении экспериментов при регулярном режиме [9–11] охлаждения образцов тканей. Измерения проводились на  $\lambda$ -калориметре ЛКТ-1 (см. рис. 3) в температурном диапазоне 20...25 °С.

Теория этого метода базируется на представлении решения дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности в виде суммы бесконечного ряда по быстро убывающим экспоненциальным функциям. С некоторого времени  $\tau$  от начала процесса охлаждения ткани (практически при числах Фурье  $Fo > 0,3$ ) можно с достаточной точностью ограничиться первым членом данного ряда и записать

$$\vartheta = \vartheta_0 A_1 U_1 \exp(-m\tau),$$

где  $\vartheta = t - t_0$  – избыточная температура ткани, отсчитанная от температуры окружающей среды,  $A_1$  – коэффициент, зависящий от начальных условий,  $U_1$  – функция координат и граничных условий,  $m$  – темп охлаждения ткани, зависящий от ее толщины и теплофизических свойств. В экспериментах его находят, дифференцируя линейную зависимость  $\ln \vartheta = f(\tau)$ , полученную для опытного образца, после чего рассчитывают его теплофизические параметры.

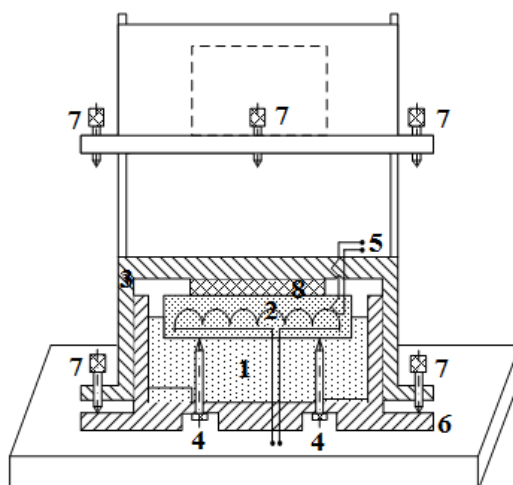


Рисунок 3. Схема экспериментальной установки для исследования теплопроводности по методу регулярного режима

Принимаются допущения о постоянстве теплоемкости [12] и теплопроводности исследуемого материала, о линейном характере температурного поля в нем, а также о независимости коэффициента теплоотдачи к окружающему воздуху от избыточной температуры.

Устройство ЛКТ-1 состоит из пары массивных блоков верхнего 3 и нижнего 6. Нижний блок содержит три опоры игольчатого типа 4 с расположенным на них медным сердечником 2 в форме диска радиусом 20 и высотой 65 мм. Во внутренней полости сердечника находится электронагреватель в форме плоской пластины, а также дифференциальная медь-константановая термопара 5. Пространство, находящееся между блоком 6 и сердечником 2, заполнено полистиролом 1. Образец ткани, исследуемый в экспериментах, обладает диаметром не более 50 мм; он располагается на сердечнике 2, к которому прижимается верхним блоком 3. Толщина исследуемого материала регулируется за счет 3-х микрометрических винтов 7, обладающих ценой деления в 0,01 мм. ЛКТ-1 укомплектован секундомером, а для измерения температуры используется ПИД регулятор ТРМ 101 с подключением к компьютеру.

Вначале определяется темп охлаждения исследуемого материала ( $m = d(\ln \vartheta)/d\tau$ ) [3; 7; 13; 14], находящегося в измерительной ячейке устройства. Он находится по зависимости избыточной температуры образца  $\vartheta$  от времени  $\tau$  проведения эксперимента. После этого вычисляют коэффициент теплопроводности по формуле

$$\frac{\lambda}{\delta} = \frac{1}{R_{об}} = A \cdot m - k \quad (2)$$

Постоянные ЛКТ-1 ( $A, k$ ) находились во время проведения тарировочного эксперимента; для этого использовалось вещество с известным коэффициентом теплопроводности, которым являлся воздух. Градуировка  $\lambda$  – калориметра проводилась для воздушных прослоек в диапазоне от 0,5 до 5 мм, изменявшихся с шагом 0,5 мм. При этом были получены следующие значения постоянных прибора:  $A = 52800 \pm 1480 \text{ Дж/м}^2 \text{ зр}$  и  $k = 37,4 \pm 1,36 \text{ Вт/м}^2 \text{ зр}$ . В дальнейшем эти градуировочные характеристики использовались в экспериментах по определению термических сопротивлений [15] и теплопроводности текстильных материалов.

Известно, что при измерениях теплопроводности источником больших систематических погрешностей являются контактные термические сопротивления. Они заметно влияют на результаты измерений теплопроводности тканей, поскольку в опытах обычно используются относительно тонкие образцы, для которых эти сопротивления имеют тот же порядок величины, что и тепловое сопротивление самого исследуемого объекта. Контактные сопротивления возникают в зонах контакта образцов с гладкими металлическими поверхностями измерительных приборов благодаря тому, что ткань касается поверхности металла лишь малыми участками – выступами или гребнями, образованными системой ее нитей. Обычно величина опорной поверхности тканей составляет лишь 5–25 % от общей поверхности образца.

Для исключения контактных эффектов измерения теплопроводности с помощью прибора ЛКТ-1 проводились на образцах тканей с различным числом слоев (от одного до четырёх – пяти). Поскольку термическое сопротивление линейно зависит от толщины исследуемого образца (при одинаковом усилии поджима), его можно представить в виде

$$R_{об} = R_k + (\delta/\lambda)_{mk} \quad (3)$$

Таким образом, величину контактного термического сопротивления  $R_k$  можно определить, экстраполируя опытную зависимость  $R_{об} = f(\delta)$  на нулевую толщину слоя.



После исключения  $R_k$  можно определить термическое сопротивление, а затем и теплопроводность исследуемой ткани при разном числе её слоев в измерительном устройстве. Толщина образцов тканей измерялась с точностью 0,01 мм микрометром под нагрузкой 20 г/см<sup>2</sup>, причем образец зажимался между двумя параллельными металлическими пластинками площадью ~15 см<sup>2</sup>. Во всех случаях результаты таких измерений в пределах 2 % совпадали с данными, полученными на толщиномере эластичных материалов, которые рекомендуются для измерения толщины тканей действующим стандартом.

Зависимости (3), полученные во время проведения эксперимента на различных материалах, представлены на рис. 4.

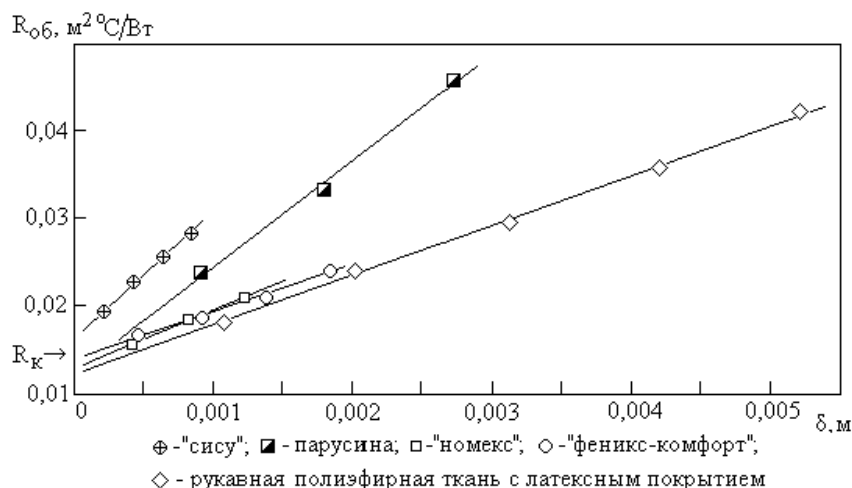


Рисунок 4. Термическое сопротивление в зависимости от толщины слоев в пакете

В качестве примера рассмотрим некоторые материалы группы, используемые в ходе исследования с учетом и без учета контактных явлений (см. табл. 2).

Таблица 2

**Примеры учета контактных явлений при определении теплопроводности для некоторых материалов исследуемой группы**

Наименование ткани	Контактные явления	
	Без учета	С учетом
Парусина	0,054	0,075
Номекс	0,047	0,072
Сису	0,028	0,084

После исключения контактных явлений, полученные результаты экспериментов находятся в пределах погрешности измерений. Они также удовлетворительно согласуются с результатами, полученными в ходе экспериментов при использовании стационарного метода плоского слоя.

**Выводы**

При использовании метода регулярного режима учет контактных термических сопротивлений в разы увеличивает точность экспериментальных результатов. Тем не менее, присутствуют множество систематических ошибок по определению коэффициента теплопроводности, которые исключить достаточно трудно. К примеру, в основе данного метода лежит теория о неизменности теплоемкости и теплопроводности образца, исследуемого в эксперименте, линейности его температурного поля, а также независимости от температуры

коэффициента теплоотдачи. Во время проведения экспериментов подобными ограничениями обычно пренебрегают, что ведет к сложности выделения линейного участка на температурной зависимости  $\ln \vartheta = f(\tau)$  и получения корректного темпа охлаждения исследуемого материала.

Выполненный анализ погрешностей проведенных экспериментов показал, что ошибки коэффициентов эффективной теплопроводности исследуемых материалов не выходят за пределы 8–10 % при стационарном методе и 15 % при регулярном режиме.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Теплофизические измерения и приборы / [Е.С. Платунов, С.Е. Буравой, В.В. Курепин, Г.С. Петров]; Под общ. ред. Е.С. Платунова. – Л.: Машиностроение: Ленингр. отд-ние, 1986. – 255 с.
2. Экспресс-метод и приборы для измерения теплопроводности. Беляев Ю.И. и др. Приборы, 2003. №8. – С. 32–35.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
4. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Л.: Энергия. 1974. – 264 с.
5. Пугачев Н.С., Туманов Ю.А. Теплотехнические измерения. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 96 с.
6. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. – М.: Энергия. 1979. – 319 с.
7. Шашков А.Г., Волохов Г.М. Абраменко Т.Н., Козлов В.П. Методы определения теплопроводности и температуропроводности. – М.: Энергия. 1973. – 366 с.
8. Шарпар Н.М. Разработка методов исследования теплофизических свойств нетканых материалов. Диссертация ... кандидата технических наук: 05.19.01 / Московский государственный университет дизайна и технологии. – М.: 2013. – 135 с.
9. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. – М.: Гостехиздат, 1954. – 408 с.
10. Кондратьев Г.М. Тепловые измерения – М.-Л.: ГН-ТИМЛ, 1957. – 244 с.
11. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы нестационарной теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1978. – 328 с.
12. Шарпар Н.М., Жмакин Л.И. Исследование теплоемкости текстильных материалов // Хим. волокна, 2016. №6. – С. 68–71.
13. Жмакин Л.И., Шарпар Н.М. Измерение теплопроводности войлока методом регулярного режима. Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна: сб. науч. тр.: в 4 ч. Ч. 1: Естественные и технические науки // С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб.: СПГУТД, 2011. – С. 227–231.
14. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / Под ред. Лыкова А.В. – М.: Энергия, 1973. – 336 с.
15. Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н. Контактное термическое сопротивление. – М.: Энергия. 1977. – 412 с.



### Sharpar Nikolai Mikhailovich

Russian state university named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia  
E-mail: sharpar753@mail.ru

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=744693](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=744693)

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/E-5345-2014>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=54401776000>

### Zhmakin Leonid Ivanovich

Russian state university named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia  
E-mail: li\_zhmakin@mail.ru

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=26045](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=26045)

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/G-9090-2014>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6603097210>

### Markova Karine Aleksandrovna

Russian state university named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia  
E-mail: karina8112@mail.ru

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=744453](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=744453)

## Experimental study of thermal conductivity of textile materials included in the clothes of power structures and special agencies

**Abstract.** When designing clothing for military sub-units that protects personnel from adverse environmental factors, it is necessary to know the various thermal properties of the materials from which it is produced. One of these properties is the thermal conductivity of fabrics, which largely determines the thermal protection characteristics of workwear.

Any fabric has a complex heterogeneous structure formed by interweaving of threads and air inclusions, so the total heat flow in it includes three components: conductive heat transfer through the fibers, as well as molecular and radiant heat transfer in inter-fiber or through pores. The coefficient of thermal conductivity of a fabric is an equivalent or effective value that takes into account these features of heat transfer.

In this article, an experimental study of the effective coefficient of thermal conductivity of a number of fabrics is undertaken using two different measurement methods: the stationary method of a flat layer and the non-stationary Express method of a regular cooling mode. The flat layer method used a scheme with a symmetrical arrangement of tissue samples relative to the electric heater; this allowed us to correctly determine the heat flux densities, and end heat leaks can be minimized and accounted for by calculation. This method is highly accurate.

The method of regular cooling mode combines the relative simplicity of the experiment and acceptable measurement accuracy. It is based on the exponential nature of changes in the temperature of a tissue sample over time. In experiments, only the rate of cooling of the fabric is determined, which is uniquely related to its thickness and thermal properties.

Sources of experimental errors are analyzed. It is shown that in the regular mode method, the main contribution to the thermal conductivity measurement error is made by contact thermal resistances at the points where tissue samples come into contact with the surface of the measuring device. A method for eliminating these resistances is proposed, which significantly improves the accuracy of experimental data.

**Keywords:** textile materials; thermal resistance; thermal properties; thermal conductivity; materials for clothing; clothing; protective clothing

## REFERENCES

1. Thermophysical measurements and devices / [E.S. Platunov, S.E. buravoy, V.V. Kurepin, G S. Petrov]; Under the General editorship of E.S. Platunov. – L.: Mashinostroenie: leningr. otd-nie, 1986 – 255 p.
2. Express method and devices for measuring thermal conductivity. Belyaev, Y.I., and others. Devices, 2003. No. 8. – Pp. 32–35.
3. Lykov A.V. Theory of thermal conductivity. – M.: Higher school, 1967 – 599 p.
4. Dulnev G.N., Zarichnyak Yu.P. thermal Conductivity of mixtures and composite materials. 1974. – 264 p.
5. Pugachev N.S., Tumanov Yu.A. Heat engineering measurements. – M.: publishing house of standards, 1978 – 96 s.
6. Osipova V.A. Experimental study of heat transfer processes. – M.: Energiya. 1979. – 319 p.
7. Shashkov A.G., Volokhov G.M. Abramenko T.N., Kozlov V.P. Methods for determining thermal conductivity and thermal diffusivity. 1973. – 366 p.
8. Sharpar N.M. Development of methods for studying the thermophysical properties of nonwoven materials. Dissertation ... candidate of technical Sciences: 05.19.01 / Moscow state University of design and technology. – Moscow: 2013 – 135 p.
9. Kondratiev G.M. Regular thermal regime. – M.: Gostekhizdat, 1954. – 408 p.
10. Kondratiev G.M. Thermal measurements – M.-L.: GN-TIML, 1957. – 244 p.
11. Belyaev N.M., Ryadno A.A. Methods of non-stationary thermal conductivity. – Moscow: Higher school, 1978. – 328 p.
12. Sharpar N.M., Zhmakin L.I. Investigation of the heat capacity of textile materials. fibers, 2016. No. 6. – Pp. 68–71.
13. Zhmakin L.I., Sharpar N.M. Measurement of thermal conductivity of felt by the regular mode method. Vestnik molodykh uchenykh Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i designa: SB. nauch. Tr.: V 4 ch. Ch. 1: Naturalnye I tekhnicheskie nauki [Bulletin of young scientists of the Saint – Petersburg state University of technology and design]. – St. Petersburg: spgtd, 2011. – P. 227–231.
14. Methods for determining thermal conductivity and thermal diffusivity / Ed. Lykov A.V. – M.: Energiya, 1973 – 336 p.
15. Shlykov Yu.P., Ganin E.A., Tsarevsky S.N. Contact thermal resistance. 1977. – 412 p.